

VŠB-Technická univerzita Ostrava
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
2109T034 Technologie tváření a úpravy materiálu

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Vliv válcovací teploty na vznik povrchových trhlin při válcování nástrojové
oceli 19 569**

**Influence of rolling temperature on initiation of surface cracks in rolling of
tool steel 19 569.**

2010

Vladislav Bambušek

ABSTRAKT

Bambušek, V. *Vliv válcovací teploty na vznik povrchových trhlin při válcování nástrojové oceli 19 569*. Ostrava: katedra tváření materiálu, VŠB – TUO, 2010. 40 s.
Bakalářská práce, vedoucí: Schindler, I.

Tato bakalářská práce se zabývá zjištěním vlivu válcovací teploty u nástrojové oceli 19 569 na vznik povrchových trhlin. První část práce je teoretická a věnuje se popisu válcovací trati, na které experiment probíhal a také přehledu o výrobě a použití nástrojových ocelí. Praktická část práce se věnuje technologii výroby a samotnému experimentu, který probíhal ve dvou úrovních válcovacích teplot. Součástí práce je výsledné zpracování a porovnání získaných údajů při válcování a možnost jejich využití při následné výrobě nástrojové oceli 19 569.

Klíčová slova: nástrojová ocel 19 569, válcovací teploty, válcování

ABSTRACT

Bambušek, V. *Influence of rolling temperature on initiation of surface cracks in rolling of tool steel 19 569*. Ostrava: Department of Material Forming, VŠB - Technical University of Ostrava, 2010. 40 p. Bachelor thesis, head: Schindler, I.

This thesis deals with finding the effect of rolling temperature alloy steel 19 569 on the formation of surface cracks. The first part is theoretical and deals with the rolling mill at which the experiment took place as well as an overview of the production and use of tool steels. The practical part is dedicated to the production technology and the experiments conducted at two levels of the rolling temperature. The part of this work is the final processing and comparing of the data obtained during the rolling process and the possibility of their use in subsequent production of tool steel 19 569.

Key words: tool steel 19 569, rolling temperature, rolling

Obsah

1	Úvod.....	8
2	Univerzální válcovací trať VHB – Bohumín.....	9
2.1.	Technologické uzly.....	9
2.1.1.	Ohřívací pec.....	10
2.1.2.	Válcovací stolice.....	11
2.1.3.	Nůžky Sontag a rovnací lisy.....	12
2.1.4.	Rovnačka za tepla.....	12
2.1.5.	Rovnačka za studena.....	12
2.1.6.	Termoboxy.....	13
3	Nástrojové oceli.....	14
3.1.	Rozdělení nástrojových ocelí.....	14
3.1.1.	Nelegované nástrojové oceli.....	15
3.1.2.	Legované oceli pro práci za studena.....	16
3.1.3.	Legované oceli pro práci za tepla.....	17
3.1.4.	Rychlořezné oceli.....	17
3.2.	Požadované vlastnosti nástrojových ocelí.....	18
3.3.	Činitelé ovlivňující tvárnost.....	19
3.3.1.	Metalurgiční činitelé.....	19
3.3.2.	Termodynamické činitelé.....	20
3.3.3.	Technologické činitelé.....	20
3.4.	Trhliny a jejich šíření.....	22

4	Nástrojové oceli.....	23
4.1.	Výroba nástrojové oceli 19 569.....	23
4.2.	Charakteristika oceli.....	24
4.3.	Použití oceli.....	24

Technická zpráva

5	Technologie ohřevu nástrojové oceli 19 569.....	26
5.1.	Technologie sázení předvalků do pece.....	26
5.2.	Doba a způsob ohřevu.....	27
6	Technologie válcování nástrojové oceli 19 569.....	28
6.1.	Úběrové plány a rozměrové tolerance.....	28
6.2.	Válcování.....	30
6.3.	Vychlazování.....	30
7	Experiment.....	31
7.1.	Válcování při nižších teplotách.....	32
7.1.1.	Ohřev.....	32
7.1.2.	Průběh válcování.....	32
7.1.3.	Dílčí zhodnocení.....	34
7.2.	Válcování při vyšších teplotách.....	35
7.2.1.	Ohřev.....	35
7.2.2.	Průběh válcování.....	35
7.2.3.	Dílčí zhodnocení.....	37
8	Závěr.....	38
	Seznam použitých pramenů.....	39

1 Úvod

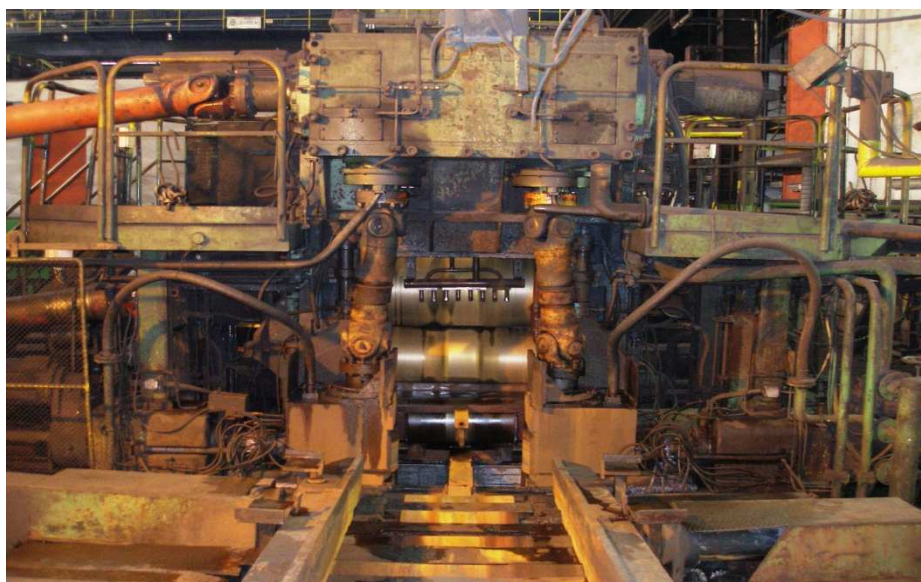
Současná celosvětová situace je charakterizována v hutnictví a metalurgii velkou náročností a to především kvůli omezení růstu produkce, nejisté poptávce a přetrvávající finančním problémům podniků a firem. Každý zákazník, kterého si v dnešní nelehké situaci firma udrží, nebo nově získá je nejen velkou vzpruhou pro další práci, ale mnohdy i existenční záležitostí. Tím více získává výroba nástrojových ocelí na atraktivnosti, jelikož se jedná o ekonomicky velice zajímavý sortiment s vysokou přidanou hodnotou, čímž je částečně kompenzována snížená poptávka po válcované široké oceli běžných jakostí. Výroba nástrojových ocelí v TŽ, a.s. není ani v dnešní době vůbec jednoduchou záležitostí, protože se jedná o velice náročný výrobní proces s množstvím operací, při kterých mohou vznikat problémy jak při výrobě a odlévání taveb v elektrických pecích, tak při samotném válcování nástrojových ocelí. Zvýšená poptávka po nástrojových ocelích ze strany zákazníka a cena až 5krát vyšší než u konstrukčních ocelí se ukazují jako cesta správným a velice prozíravým směrem.

Stěžejní částí práce bylo s pomocí získaných dat z ohřevu a samotného průběhu válcování určit optimální válcovací teploty nástrojové oceli 19 569 tak, aby navržené změny vedly ke snížení vzniku povrchových trhlin. Samotný průběh válcování probíhal na třineckém provozu VHb - univerzální válcovací trať Bohumín. Proběhlo několik válcování nástrojové oceli 19 569 v různých rozměrových hodnotách vstupních i výstupních údajů. Obtížnost těchto válcování spočívala v tom, že konkrétní válcování musela probíhat tak, aby vyválcovaný sortiment bylo možné následně nabídnout zákazníkovi v požadované kvalitě. Válcování probíhala v tepelných rozhraních maximální a minimální válcovací teploty, po dohodě s technologickým oddělením.

Cílem mé práce bylo ověření si v praxi, zda má u oceli 19 569 válcovací teplota vliv na vznik povrchových trhlin a do jaké míry jejich vznik ovlivňuje. Poznatky z těchto válcování budou uplatněny při dalších válcováních nástrojové oceli 19 569, neboť se jedná o sortiment, jehož válcované množství začíná postupně narůstat a pro samotnou válcovnu VHb – Bohumín je ekonomicky důležitým válcovaným sortimentem nejen z důvodu udržení si pozic na trhu. Současný trend ve vyráběném sortimentu vede k válcování rozměrů s přísnější rozměrovou tolerancí, nižšími hodinovými výkony a výrobě jakostně náročnějších značek ocelí.

2 Univerzální válcovací trať VHb - Bohumín

Univerzální válcovací trať v Bohumíně, je od 1. ledna 2002 začleněna do struktury TŽ, a.s. Jedná se střední válcovací trať s objemem roční výroby cca 57 000 tun. Válcovna je jediným monopolním výrobcem válcované široké oceli v České republice. Od 1. ledna 2010 již není samostatným provozem, ale stala se součástí třinecké válcovny VH, kde je stěžejní výrobní program zaměřen na výrobu kolejnic. Vyráběným sortimentem v Bohumíně je široká pásová ocel, válcovaná v šířkách 150 - 520 mm a tloušťkách 5 - 60 mm. Veškerá produkce je vyráběna v pásech dlouhých 2 - 12 m. Jedná se o výrobu konstrukčních, legovaných, lodních a nástrojových ocelí [1]. Téměř 80% produkce je určeno pro zahraniční trhy. V posledním období se staly nástrojové oceli ekonomicky velice atraktivním sortimentem a stěžejní část jejich produkce spadá na značku 19 569, která je určena pro výrobce průmyslových nožů.



Obr. 1 - Pohled na univerzální válcovací stolici

2.1. Technologické uzly

Jedná se o strojní zařízení válcovny VHb, která tvoří důležité technologické uzly a rozhodujícím způsobem ovlivňují výrobní kapacity válcovací tratě. Mezi nejdůležitější technologické uzly na válcovně VHb - Bohumín patří: ohřívací pec, válcovací stolice, rovnací pravítka, nůžky Sontag, rovnačka za tepla, vychlazovací boxy, rovnačka za studena [1].

2.1.1. Ohřívací pec

Ohřívací pec je narážecí, třízónová s pevnou nístějí. Předehřívací zóna je bez hořáků s odtahem spalín. Ohřívací zóna má šest vířivých hořáků Z 1000 (2 čelní a 4 boční). Vyrovnávací zóna má čtyři vířivé hořáky typu H2B. Vsázka je do pece tlačena z čelní strany mechanickým sázecím strojem. Po průchodu pecí je ohřátý materiál vytlačován pomocí manipulátoru na výstupní dopravník s točnou, nad kterou je umístěn drtič okují a přes další mechanický posun je materiál dopraven na válečkové dopravníky před válcovací stolicí. Pec je vytápěna degazačním plynem, jehož složení je: 57 - 63% CH₄, 6,5 - 7,5% CO₂, max. 2% O₂ a zbytek 25 - 35% N₂. Výhřevnost tohoto plynu $Q_i = 19,4 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$

$$Q_i = \varphi_{l\text{CO}} \cdot Q_{i\text{CO}} + \varphi_{l\text{H}_2} \cdot Q_{i\text{H}_2} + \varphi_{l\text{CH}_4} \cdot Q_{i\text{CH}_4} \quad [\text{J} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (1)$$

φ_l - objemové procento složky v plynu [%]

Q_i - výhřevnost složky v plynu [$\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$]

Pro ovládání a řízení topného systému pece se používá systém SIEMENS- SIMATIC S7. Tlak přiváděného plynu je ve vstupní plynové řadě regulován servomotorem, na hodnotu tlaku plynu 10 kPa. Spaliny z pece jsou odváděny do dvou rekuperátorů, kde je předehříván spalovací vzduch, který je dodáván 2 ventilátory:

- RVI 1 000, výkon 18 000 Nm³/hod., tlak 4 860 Pa, elektromotor 30 kW
- RVD 1 000, výkon 8 000 Nm³/hod., tlak 4 860 Pa, elektromotor 28 kW

Jeden z ventilátorů je vždy pracovní a druhý záložní. Spaliny jsou odváděny do ovzduší komínem o výšce 40,25 m a světlosti 1,7 m [1].

Základní technické parametry pece

- vnitřní šířka pece 3 300 mm
- užitná délka pece 21 350 mm
- užitná plocha nístěje 70,5 m²

Výkonové parametry

- jmenovitá výkonnost 15 t /hod.
- maximální výkonnost 18 t /hod.

2.1.2. Válcovací stolice

Jedná se o univerzální válcovací stolicí. Trio horizontálních válců (Lauthovo trio s malým průměrem prostředního válce), doplněné o dvojici vertikálních válců, umístěných za válcovací stolicí [2]. Vlastní stolice je tvořena dvěma ocelolitinovými stojany s hydraulicky uzavíratelnými příčnicí. Horizontální i vertikální válce jsou uloženy v ložiskových tělesech. Z horizontálních válců jsou poháněny horní a spodní, střední válec je volnoběžný. Součástí válcovací stolice jsou zaváděcí a pomocné armatury, zvedací stoly s válečkovými dopravníky a také vysokotlaký ostřík pro odstraňování primárních okují před prvním průchodem a sekundárních okují během válcování. Charakteristiku motorů pro pohon horizontálních a vertikálních válců ukazuje tabulka 1.

Tabulka 1

Pohon horizontálních válců		Pohon vertikálních válců	
Asynchronní motor			
Typ	1 EMR 136 – 62 – 8	Typ	SIEMENS ARNR 500 b-6
Výkon	1 500 kW	Výkon	560 kW
Otáčky	7 400 min ⁻¹	Otáčky	990 min ⁻¹
Napětí	5 000 V	Napětí	400 V

Horizontální válce

- Průměr horního a spodního válce 570 mm až 650 mm
- Průměr středního válce 490 mm až 570 mm
- Délka těla válců 1 100 mm

Vertikální válce

- Průměr válců 4000 mm až 460 mm
- Délka těla válců 340 mm
- Průměrná rychlost válcování 2,6 m/s

2.1.3. Nůžky SONTAG a rovnací lisy

Nůžky pro stříhání za tepla jsou poháněny elektromotorem o výkonu 70 kW přes řemenice s klínovými řemeny. Šířka nožů je 1 200 mm a jejich maximální zdvih je 150 mm. Dovolенý maximální průřez pro ocel tř. 11 je 15 000 mm² a pro oceli tř. 19 je 12 000 mm² při teplotě stříhaného materiálu 800°C. Pro odkládání ostříhu do beden slouží deskový dopravník se sklonem 45° a rychlostí posunu 0,5 m·s⁻¹. Operátor nůžek SONTAG ovládá rovněž 4 sekce rovnacích lisů a 2 válečkové potahovače. Každá sekce rovnacích lisů se skládá ze dvou samostatně ovládaných pres, s vlastním hydraulickým okruhem tvořeným nádrží, motorem, chlazením, hydraulickými písty a rozvody. Celková délka tohoto zařízení je 28 m a používá se k rovnání šavlovitosti vyválnovaného materiálu [1].

2.1.4. Rovnačka za tepla

Rovnací stroj za tepla slouží k rovnání vlnitosti vyválnovaného materiálu a skládá ze 4 horních stavitelných válců a z 3 dolních, pevně uložených válců o průměru 220 mm a délce 1 000 mm. Maximální zdvih válců je 80 mm, což je i maximální tloušťka vývalku, který je možno rovnat za tepla. Válce jsou usazeny v ocelolitinovém rámu. V rámu jsou horní a dolní válce vzájemně přesazeny a uloženy v bronzových pouzdrech. Hnané jsou dolní válce s čelním ozubením, jejichž pohon obstarává elektromotor přes převodovku a spojku. Rychlost rovnání je 1,5 m·s⁻¹ s možností reverzního posunu [1]. Výběhový úsek rovnačky je tvořen shazovacím mechanismem, který umísťuje vyrovnané pásnice do vychlazovacích kapes, ve kterých postupně chladne.

2.1.5. Rovnačky za studena

Dvou stojanové rovnačky za studena jsou na VHb celkem tři. Mají rám z ocelolitiný a uvnitř rámu je uloženo celkem 7 válců, z toho jsou 4 válce horní, vzájemně přesazené proti 3 válcům spodním, které jsou hnané. Délka těla válců je 1 000 mm, průměr válců je 200 – 250 mm. Maximální zdvih válců 60 mm je současně největší rovnanou tloušťkou za studena na těchto rovnačkách. Rovnačky slouží pro rovnání a svazkování materiálu před expedicí [1].

2.1.6. Termoboxy

Z důvodu zpomaleného vychlazování některých druhů vývalků a to především nástrojových ocelí, byly v roce 2007 postaveny za výběhovým úsekem teplé rovnačky dva nové vychlazovací termoboxy. Dva starší termoboxy mají víka otvíratelná jen pomocí jeřábu a používají se pouze pro ukládání vývalků o délkách nad 4 200 mm až do 6 000 mm. Nové termoboxy jsou vybaveny čidly pro snímání vnitřní teploty. Mezi oběma termoboxy se nachází ovládací panel, který slouží ovládání poklopů jednotlivých boxů a rovněž jsou na něm umístěny ukazatelé vnitřních teplot každého termoboxu. Hydraulicky ovládaná uzavíratelná víka umožňují snadné ovládání obsluhy (obrázek 2) a také možnost rychlého uložení a uzavření termoboxu i při malých kusových sériích vývalků, což je většinou případ výroby nástrojových ocelí. Vnitřní užité rozměry termoboxů jsou: délka 4 200 mm, šířka 1 200 mm a úložná výška 1 000 mm. Kapacita každého je cca. 15 tun. Doba vychlazování u nástrojových ocelí je stanovena na 48 hodin [1].



Obr.2 - Vychlazovací termobox na VHb - Bohumín

3 Nástrojové oceli

Nástrojové oceli představují z hlediska vlastností a chemického složení širokou skupinu ocelí. Jakost nástrojů z těchto ocelí ovlivňuje ve strojírenství nejen produktivitu práce, ale také přispívá ke snížení výrobních nákladů. Od těchto nástrojů je požadována vysoká tvrdost, pevnost, houževnatost, odolnost proti opotřebení a také rozměrová stálost. Potřebné vlastnosti nástrojů z těchto ocelí získáme vhodným chemickým složením a tepelným zpracováním [3].

Nástrojové oceli můžeme definovat jako třídu uhlíku a legované oceli běžně používané při výrobě nástrojů. Nástroje oceli se vyznačují vysokou tvrdostí a odolností proti oděru, často doprovázené vysokou pevností a odolností proti měknutí při zvýšené teplotě. Tyto vlastnosti jsou obecně dosaženy vysokým obsahem uhlíku a legujících prvků. Podle klasifikace AISI (AISI - americká norma železa a oceli), jsou nástrojové oceli rozděleny do dvanácti hlavních kategorií [4] (viz přílohy).

Toto zařazení je založeno na následujících kritériích:

- A. Společné konečné použití (např. vysoce – rychlořezných ocelí)
- B. Společné vlastnosti (např. šoku - odolné oceli)
- C. Společný způsob tepelného ošetření (např. olej - kalení oceli)
- D. Společné složení

3.1. Rozdělení nástrojových ocelí

Nástrojové oceli musí mít nižší obsah vměstků a rovnoměrné rozložení karbidů v matici, aby se snížilo nebezpečí praskání nástrojů při kalení, nebo vyštípování bříty za provozu.

Dělení nástrojových ocelí podle chemického složení:

- nelegované nástrojové oceli
- legované oceli pro práci za studena
- legované oceli pro práci za tepla
- rychlořezné oceli

Nástrojové oceli se vyrábějí v elektrických obloukových nebo indukčních pecích. Při jejich výrobě je nutné volit vsázku s nízkým obsahem fosforu, jehož odstranění je obtížné [5].

3.1.1. Nelegované nástrojové oceli

Nelegované nástrojové oceli se liší zejména obsahem uhlíku, který u těchto ocelí nejčastěji bývá v rozmezí 1 až 1,2%. Hlavní nevýhodou těchto ocelí je jejich malá prokalitelnost. Oceli se kalí u podeutektoidních ocelí z teplot nad A_3 (přítomnost feritu je nežádoucí) a u nadeutektoidních ocelí nejčastěji z teplot nad A_1 . Po kalení má martenzit stejný obsah uhlíku jako austenit při kalící teplotě. Po kalení se oceli popouštějí na 160 až 280°C. Dosažená tvrdost činí 52 až 60 HRC. Nelegované oceli se používají pro výrobu ručního nářadí a nástrojů. Jedná se o výrobu menších a méně náročných nástrojů, jako jsou nástroje na opracování dřeva, závitníky, vrtáky, frézy, pilky na kov.

Přehled těchto ocelí podle DIN 17 350 je uveden v tabulce 2, kde chemické složení je uvedeno (v hm %) [6].

Tabulka 2

Značka	Číselné označení	C	Sobě	Mn	HB	Kalící teplota	Kalící prostředí	HRC
C 60 W	1.1740	0,55-0,65	0,15-0,40	0,60-0,80	231	800-830	olej	52
C 70 W	1.1620	0,65-0,74	0,10-0,30	0,10-0,35	183	790-820	voda	57
C 80 W	1.1525	0,75-0,85	0,10-0,25	0,10-0,25	192	780-810	voda	59
C 85 W	1.1830	0,80-0,90	0,25-0,40	0,50-0,70	222	800-830	olej	57
C105 W	1.1545	1,00-1,10	0,10-0,25	0,10-0,25	213	770-800	voda	60

HB Tvrdost po vyžhání na měkko

HRC Tvrdost po kalení a popouštění

HB - zkouška tvrdosti podle Brinella, se provádí vtlačováním kovové zakalené kuličky do povrchu zkoušeného materiálu a poté se měří průměr vtlačené jamky.

$$HB = \frac{0,1022 \cdot F}{D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad [\text{N} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (2)$$

F – vtlačovací síla [N]

D – průměr kuličky [m]

d – průměr vytlačené jamky [m]

HRC – zkouška tvrdosti podle Rockwella. Měří se zde rozdíl vtisku diamantového kužele mezi dvěma zatíženími (předběžným = 100 N a celkovým = 1 500 N). Účelem předběžného zatížení je vyloučit z naměřené hloubky nepřesnosti povrchových ploch [7].

3.1.2. Legované oceli pro práci za studena

Používají se k podobným účelům jako nelegované. Mají však vyšší prokalitelnost, vyšší tvrdost (60 až 64 HRC) a současně nižší pokles tvrdosti s teplotou. Bývají legovány chromem, wolframem, molybdenem a vanadem. Uvedené legují prvky, zvyšují stabilitu karbidické fáze, snižují pokles tvrdosti při popouštění a zvyšují tvrdost a odolnost nástrojů proti opotřebení.

Vysocelegované chromové ledeburitické oceli tvoří zvláštní skupinu legovaných nástrojových ocelí. Obsahují až 12 % chromu a kolem 2 % uhlíku. U větších průřezů se kalí do oleje, u menších na vzduchu. Při kalení jsou u těchto ocelí malé objemové změny z důvodu vysokého obsahu zbytkového austenitu. Používají se pro zhotovování nástrojů ke tváření za studena, jako jsou protahovací a protlačovací trny, průvlaky, válce.

Pro zvýšení houževnatosti se přidává do ocelí pro práci za studena nikl a to u ocelí s nižším obsahem uhlíku a tvrdostí jen 52 HRC. Používají se pro výrobu kovadel, razidel, nožů, měřidel a také forem na lisování plastických hmot [6].

3.1.3. Legované oceli pro práci za tepla

U legovaných ocelí pro práci za tepla se požaduje vysoká odolnost proti deformaci, otěruvzdornost a také odolnost proti opotřebení při pracovních teplotách a odolnost proti tepelné únavě. Tyto oceli obsahují uhlík v rozmezí 0,28 až 0,6 %. Jsou legovány chromem až do 5,5 %, molybdenem do 3 % a vanadem do 1,1 %. Chromniklové oceli obsahují cca 1 % chromu a do 0,12 % vanadu, použití na zápustky a silné děrovací trny pro výrobu bezešvých trubek. Kalí se z teploty 850 °C. Na nástroje u nichž se předpokládá teplota pracovního povrchu do 350 °C (formy pro tlakové lití), jsou používány oceli legované okolo 5 % chromu, 1,4 % molybdenem a 1 % křemíku. Tyhle oceli se kalí z teplot 1 020 až 1 030 °C do oleje, vody nebo na vzduchu. Používají na výrobu lisovacích a razících nástrojů a také na nástroje pro protlačování [6].

3.1.4. Rychlořezné oceli

Rychlořezné oceli se vyznačují odolností proti poklesu tvrdosti do teplot kolem 550 °C. Jedná se o ledeburitické oceli vysoce legované s obsahem uhlíku nad 0,7 %. V těchto ocelích je základním legujícím prvkem wolfram, který bývá částečně nahrazen polovičním množstvím molybdenem. Složení rychlořezné oceli je 0,75 % uhlíku, 4 % chromu, 18 % wolframu a 1 % vanadu. Rychlořezné oceli pro nejvyšší výkony se legují kobaltem do cca 12 %. Rychlořezné oceli se kalí z teplot 1 200 až 1 280 °C. Popouští se na sekundární tvrdost při teplotě okolo 560 °C. Při teplotách nad 150 °C dochází k mírnému poklesu tvrdosti z důvodu částečného vylučování karbidů z martenzitu (klesá tvrdost martenzitu). Při teplotách 450 až 550 °C poklesne obsah uhlíku ve zbytkovém austenitu v důsledku precipitace karbidů a tvrdost vzroste. Při transformaci se přemění jen část austenitu a popouštění se opakuje. Pro dosažení tvrdosti 60 až 66 HRC se popouštění opakuje obvykle třikrát. Použití na nástroje pro obrábění jako jsou například frézy, soustružnické nože, pilové pásy [8].

3.2. Požadované vlastnosti nástrojových ocelí

Tvrдост: je závislá na obsahu uhlíku a na tepelném zpracování. Vysoké tvrdosti se dosahuje kalením a popouštěním za nízké teploty (do 200 °C).

Plastické vlastnosti a houževnatost: závisí zejména na matici a množství, morfologii a velikosti karbidů a na přítomnosti vměstků, případně výrobních vad.

Odolnost oceli proti popuštění: je důležitá zejména u řezných nástrojů pracujících za vyšších teplot. Odolnost se posuzuje podle poklesu tvrdosti při dlouhodobém ohřevu materiálu na vyšší teploty [6].

Řezivost: je požadována zejména u řezných nástrojů. Je výrazně ovlivňována množstvím, složením a rozložením karbidů ve struktuře.

Tepelná únava: se projevuje po určité době u nástrojů, které jsou vystaveny střídání teploty, v důsledku toho vznikají síťové trhlinky na povrchu. Tyto trhlinky jsou vyvolány tepelnými dilatacemi, které při ohřevu vyvolávají na povrchu nástrojů tlakové pnutí, při ochlazení tahové. Odolnost proti tepelné únavě závisí zejména na mezi kluzu a houževnatosti oceli.

Prokalitelnost: je definována jako schopnost získat požadovanou tvrdost po zakalení do určité hloubky. Nelegované oceli mají nízkou prokalitelnost. Prokalitelnost zvyšují všechny legující prvky zejména Mn, Cr, Mo, Ni.

Rozměrová stálost: je důležitá vlastnost u tvarových nástrojů a u měřidel. Rozměrové změny jsou způsobovány změnou struktury, ke kterým dochází při změnách teplot (rozpadem zbytkového austenitu) [5].

3.3. Činitelé ovlivňující tvařitelnost

Tvařitelnost tvářeného tělesa je jeho schopnost se deformovat za určitých podmínek tváření až do porušení celistvosti. Vychází ze základní charakteristiky tvářeného kovu, kterou je plastická deformace v rozsahu od počáteční deformace po mezní. Výslednou tvařitelnost ovlivňuje celá řada vzájemně se ovlivňujících činitelů [9].

Vzájemné působení chemického složení a mikrostruktury (austenitického zrna, karbidů a nekovových vměstků) je charakteristika rychlořezných legovaných ocelí a analyzována jako funkce tepelných deformací. K šetřením byly využity leštěné a žíhané typy AISI M2 rychlořezných ocelí z šesti různých zemí a devět různých společností. Bylo studováno sto dvacet osm kombinací chemického složení a mikrostruktury a analýzy přinesly třicet tisíc individuálních výsledků. Z následných pokročilých statistických analýz těchto údajů vyplynuly důležité informace týkající se vztahu mezi chemickým složením, mikrostrukturou a plastovou deformací [10].

3.3.1. Metalurgiční činitelé

Chemické složení: množství jednotlivých prvků v tavbě má rozhodující vliv na tvařitelnost a užité vlastnosti oceli. Tavba bývá tvořena základními prvky (Fe, C, Mn, Si), nečistotami (P, S), plyny (O, N, H), stopovými prvky (Cu, Sn, Zn, Pb, As), legujícími prvky (Cr, Ni, Mo, W, V, Nb, Ti, Zr, B). Rovněž způsob vedení tavby má vliv na konečné složení.

Strukturní stav: je rozdíl mezi strukturou litou nebo protvářenou, typem mřížky, makrostrukturou (orientace krystalu, nehomogenita, vady), mikrostrukturou (rovnoměrnost, velikost zrna, tvar, hranice zrn, čistota zrn a jejich poruchy), množství a způsob vyloučení vměstků, strukturní stav (jednofázový, vícefázový).

Tepelně aktivované děje: většina tvářecích pochodů se vyznačuje velkými plastickými deformacemi za tepla. Plastické schopnosti a vlastnosti ke tváření ovlivňuje kinetika zpevňovacích a uzdravovacích procesů. Mezi tyto mechanismy patří dynamická rekrystalizace, dynamické zotavení, statická rekrystalizace a růst zrn.

3.3.2. Termodynamičtí činitelé

Oba uzdravovací mechanismy, jak dynamická rekrystalizace, tak i dynamické zotavení, silně závisí na termodynamických činitelích, kterými jsou: teplota tváření T v (K), deformační rychlost \dot{e} , velikost deformace e a historie tváření.

$$\dot{e} = \frac{de}{dt} \text{ [s}^{-1}\text{]} \quad (3)$$

$$e = \ln \frac{h_1}{h_0} \quad \text{skutečná deformace} \quad (4)$$

$$e = \frac{\gamma}{2} \quad \text{simulace válcování plochých vývalků} \quad (5)$$

Všechny vlivy termodynamických činitelů se vzájemně prolínají [9].

3.3.3. Technologičtí činitelé

Stav napjatosti: napěťový stav ovlivňuje tvařitelnost a také přetvárné odpory. Obecně existuje devět stavů napjatosti. Čtyři prostorové, tři rovinné a dva jednoosé.

$$\text{Stav napjatosti} = \frac{\sigma_8}{S_\sigma}$$

σ_8 - hydrostatické (střední) napětí

S_σ - intenzita napětí

$$\sigma_8 = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \quad (6)$$

$$S_\sigma = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2]} \quad (7)$$

Způsob deformace: jedná se o deformační historii, kde mají vliv časová posloupnost po sobě jdoucích přerušovaných deformací a velikosti úběrů.

Existují tři základní mechanismy plastické deformace [11]:

- Skluzem za současného působení rekrytalizace (rozhodující vliv má vznik dislokací a možnost jejich pohybu).
- Difuzí (vliv vnějších napětí v závislosti na teplotě).
- Přemístěním jednotlivých bloků a zrn.

V průběhu plastické deformace zůstává objem kovu nezměněn a platí zde zákon kontinuity:

$$V_0 = h_0 \cdot b_0 \cdot l_0 = V_1 = h_1 \cdot b_1 \cdot l_1 \quad [\text{m}^3] \quad (8)$$

V_0 – objem před tvářením [m^3]

V_1 – objem po tváření [m^3]

$$\frac{h_1}{h_0} \cdot \frac{b_1}{b_0} \cdot \frac{l_1}{l_0} = \gamma + \beta + \lambda = 1 \quad (9)$$

γ - koeficient výškové deformace

β - koeficient šířkové deformace

λ - koeficient délkové deformace

$$e_h + e_b + e_l = 0 \quad (10)$$

e_h - skutečná deformace přechování

e_h - skutečná deformace šíření

e_h - skutečná deformace prodloužení

3.4. Trhliny a jejich šíření

Podstata šíření trhliny je v rozdílné mikrostruktuře. Materiál se při působení meziatomových sil šíření trhliny brání, klade odpor. Pokud je hnací síla trhliny větší než odpor proti jejímu šíření, pak se bude trhlina šířit. Nukleace trhlín končí vytvořením mikrotrhlín kritické velikosti. Procesy cyklické plastické deformace, zapříčiňují změny mechanických vlastností a souvisí s pohybem, generací a interakcí dislokací.

Cyklická plastická deformace řídící únavový proces, kdy se experimentálně mnohokrát potvrdilo, že homogenní materiál neobsahující žádné defekty a trhliny má vznik prvních trhlín na povrchu. Trhliny se vytvářejí skluzovými procesy a zpravidla leží podél skluzových rovin, které s osou venkovního napětí svírají úhel okolo 45° (především u hladkých rovin) [12].

Vliv snížených teplot má vliv na rychlost šíření trhliny v oblasti vysokých rychlostí, převládají zde při nižší teplotě stejné procesy, které rychlost šíření trhliny výrazně zvyšují. Vliv zvýšených teplot je pro rychlost šíření únavových trhlín s vyšší teplotou zvyšující, ovšem při vyšších rychlostech je šíření trhliny nižší.

Legující prvky zlepšují u kovů deformační vlastnosti mřížky, nebo odstraňují, či potlačují složky působící zkřehnutí. Vnitřní vady a strukturní defekty koncentrují kolem sebe napětí a snižují odolnost materiálu proti šíření trhlín. Plastické vlastnosti nástrojových ocelí po zakalení a popouštění určují odolnost nástrojů proti mechanickým rázům a tím také proti tvorbě trhlín a jejich šíření [5].

4 Nástrojová ocel 19 569

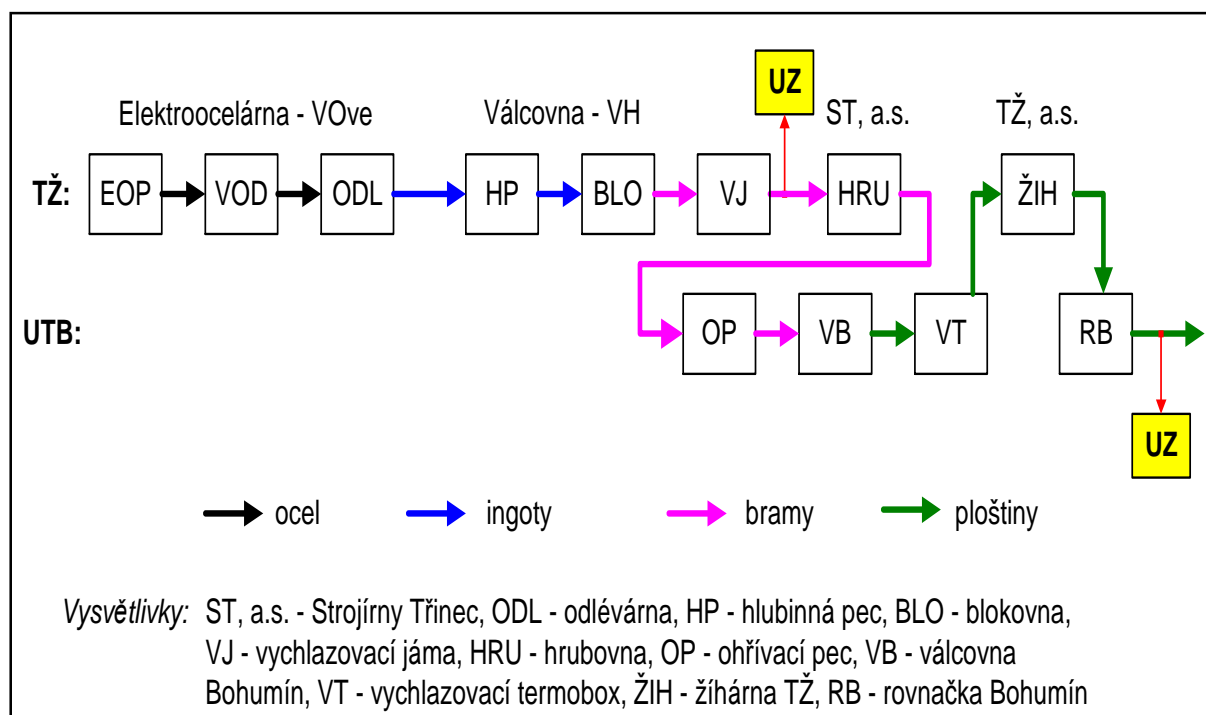
Nástrojová ocel 19 569 dle ČSN 41 9569. Tato ocel odpovídá přibližně německé oceli X63CrMoV5-1, W.Nr. 1.2362. Jedná se o nástrojovou chrom-molybden-křemík-vanadovou ocel. Chemické složení nástrojové oceli 19 569 je uvedeno v tabulce 3, obsah jednotlivých prvků je udáván v (hm. %) [13].

Tabulka 3

	C	Mn	Si	Cr	W	V	Mo	P	S
Chemické složení (rozbor tavby)	0,58 až 0,68	0,25 až 0,55	0,70 až 1,10	4,50 až 5,50	max. 0,60	0,20 až 0,40	0,80 až 1,20	max. 0,030	max. 0,035
Dovolené úchyly chemického složení v hotovém výrobku	±0,01	±0,05	±0,05	±0,10	-	±0,04	±0,04	-	-

4.1. Výroba nástrojové oceli 19569

Výroba nástrojové oceli 19 569 začíná v TŽ, a.s. začíná výrobou oceli na elektroocelárně a jejím následným vakuováním. Ocel je odlévána do ingotů, které se ukládají do hlubinných pecí. Následuje blokovna s převálcováním ingotů na brámy a uložení bram do vychlazovací jámy. Před hrubým opracováním na hrubovně je provedena ultrazvuková zkouška na zjištění vnitřních vad. Po kompletaci bram na zakázku následuje jejich přeprava na válcovnu Bohumín. Zde se provede ohřev v narážecí peci, brámy se převálcují a nastříhají na pásy, které se po odválcování uloží do vychlazovacích termoboxů. Vychlazené ploštiny se pošlou zpět do TŽ, a.s. na vyžíhání a poté se opět vracejí do Bohumína k rovnání, kde před vlastní expedicí ještě procházejí ultrazvukovou zkouškou na zjištění vnitřních vad. Celý proces výroby nástrojové oceli 19 569 v TŽ, a.s. je znázorněn na obrázku 4 [14].



Obrázek 4 - Schéma výroby nástrojové oceli 19 569

4.2. Charakteristika oceli

Jedná se o nástrojovou chrom-molybden-křemík-vanadovou ocel ke kalení v oleji a na vzduchu. S velkou prokalitelností (na klidném vzduchu asi do 80 mm), se zvětšenou odolností proti opotřebení a tlakovému namáhání při zvětšené houževnatosti. Má velmi malé rozměrové změny po tepelném zpracování, dobrou obrobitelnost ve stavu žíhaném na měkko a dobrou tvárnost za tepla.

4.3. Použití oceli

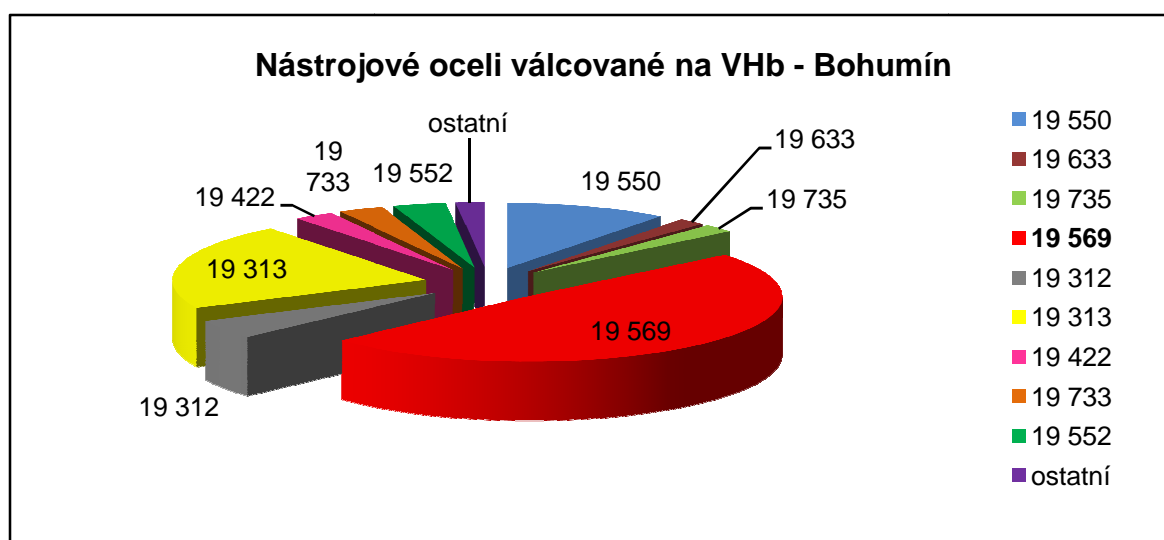
Nástroje pro stříhání za studena: velmi namáhané výkonné střížníky pro stříhání a děrování materiálu středních a větších tloušťek (do 10 mm) s větší pevností a zvětšenými nároky na houževnatost, odolnost proti opotřebení a tlakovému namáhání. Velmi výkonné ploché a kotoučové nože pro stříhání tyčí, profilů a plechů o větší pevnosti.

Nástroje pro tváření za studena: velmi namáhané nástroje s požadovanou kombinací odolnosti opotřebení a houževnatostí. Nástroje na ražení, zápustkové lisování, tažení, protlačování a tvarování. Rovněž se používají na hladké a profilované válce.

Řezné nástroje: obráběcí nástroje středně a více namáhané pro obrábění různých nekovových materiálů a dřeva při zvětšených požadavcích na houževnatost. Různé nože, frézy, vrtáky a také sekací nože na dřevo o velké výkonnosti.

Nástroje na drcení a mletí: kladiva a čelisti drtičů pro jemné i hrubší drcení při požadované dobré kombinaci odolnosti proti opotřebení a houževnatosti [15].

Výrobu nástrojových ocelí na válcovně VHb - Bohumín ukazuje obrázek 5.



Obrázek 5 - Sortiment válcovaných nástrojových ocelí na VHb – Bohumín

V tabulce 4 jsou uvedeny označení některých nástrojových ocelí válcovaných na válcovně UT Bohumín, dle příslušných norem [15].

Tabulka 4

Označení oceli		
ČSN	EN	ISO
19 550	1.2738	40CrMnMoS8
19 735	1.2550	60WCrV7VK
19 313	1.2842	90MnCrV8VK
19 552	1.2316	X38Cr5MoV5

Technologickou a experimentální část bakalářské práce obsahuje:

Technická zpráva - *Vliv válcovací teploty na vznik povrchových trhlin při válcování nástrojové oceli 19 569.*